

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Теплоенергетичний факультет

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

До захисту допущено

Завідувач кафедри

О.В. Коваль

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2019р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки

6.050101 “Комп’ютерні науки”

на тему “Визначення геометричних параметрів ротора вітроустановки”

Виконав: студент 4 курсу, групи ТМ-52

Поляков Ілля Олексійович

(прізвище, ім’я, по батькові)

(підпис)

Керівник ст. викладач, кандидат технічних наук Матях С. В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”**

Факультет теплоенергетичний

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Напрямок підготовки 6.050101 “Комп’ютерні науки”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.В. Коваль

(підпис)

” ” _____ 2019р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Полякова Іллі Олексійовича

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи Визначення геометричних параметрів ротора вітроустановки

керівник роботи ст. викладач, кандидат технічних наук Матях С. В.

(прізвище, ім’я, по батькові науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від ”22”05.2019р. №1325С

2. Строк подання студентом роботи 10.06.19.

3. Вихідні дані до роботи персональний комп’ютер під керуванням операційної системи Windows, мова програмування C#

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) проаналізувати існуючі програмні рішення та можливі засоби розрахунку геометричних параметрів, розробити програмний продукт, зробити висновки за результатами роботи

5. Перелік ілюстративного матеріалу

1. Мета роботи. 2. Основні особливості. 3. Будова вітроустановки. 4. Геометрія лопаті. 5. Профіль вітроустановки. 6. Робота користувача з програмою. 7. Вхідні параметри. 8. Профіль. 9. Обробка даних. 10. Результати. 11. Висновки.
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання "22" жовтня 2018р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1.	Затвердження теми роботи	22.10.2018	
2.	Вивчення та аналіз задачі	23.10.2018-02.02.2019	
3.	Розробка архітектури та загальної структури системи	02.02.2019-03.03.2019	
4.	Розробка структур окремих підсистем	03.03.2019-04.04.2019	
5.	Програмна реалізація системи	04.04.2019-05.05.2019	
6.	Оформлення пояснювальної записки	05.05.2019-13.06.2019	
7.	Захист програмного продукту	14.06.2019	
8.	Передзахист	28.06.2019	
9.	Захист	17.07.2019-25.07.2019	

Студент	_____	_____
	(підпис)	Поляков І. О.
		(прізвище та ініціали)
Керівник роботи	_____	_____
	(підпис)	Матях С. В.
		(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СКОРОЧЕНІ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ЗАДАЧА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРА ВІТРОУСТАНОВКИ.....	12
1.1. Призначення програмного продукту.....	12
1.2. Мета розробки.....	12
2. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ПРОГРАМИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РОТОРА ВІТРОУСТАНОВКИ.....	14
2.1. Програма WindProfil.....	14
2.2. Розрахунок в програмі Exel.....	17
2.3. Проблема ідеального вітряка.....	18
2.4. Висновки до розділу.....	19
3. МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРА ВІТРОУСТАНОВКИ.....	20
3.1. Вітроустановки малої потужності.....	20
3.2. Ротори Дар'є.....	20
3.3. Горизонтально-осьові вітроустановки.....	22
3.4. “Теорія ідеального вітряка” Г. Х. Сабініна.....	25

3.5. Висновки до розділу.....	27
4. ЗАСОБИ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ.....	29
4.1. Середовище розробки Visual Studio.....	29
4.2. Мова програмування C#.....	31
4.3. Технології використані при розробці програмного продукту.....	31
4.3.1.Програмна технологія .Net.....	32
4.3.2.Модель програмування Windows Forms.....	33
4.4. Висновки до розділу.....	37
5. ОПИС ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	38
5.1. Реалізація формул для визначення геометричних параметрів ротора вітроустановки.....	39
5.2. Створення графічного інтерфейсу.....	39
5.3. Структура програми.....	40
5.4. Висновки до розділу.....	42
6. РОБОТА КОРИСТУВАЧА З ПРОГРАМОЮ.....	43
6.1. Системні вимоги.....	43
6.2. Сценарій роботи користувача з програмою.....	43
6.3. Висновки до розділу.....	47
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	50
ДОДАТОК А.....	52
ДОДАТОК Б.....	54
ДОДАТОК В.....	62
ДОДАТОК Г.....	70

Анотація

Дипломна робота має 70 сторінку обсягу, містить 21 рисунок та 11 використаних джерел.

Метою розробки є реалізація Windows-орієнтованого програмного засобу, що надає можливість інженеру-проектувальнику визначити та розрахувати параметри ротора вітроустановки.

Розрахунок проводиться за теорією Г. Х. Сабініна по рівнянням зв'язку, які пов'язують ширину лопаті, коефіцієнт підйомної сили та величину, яка характеризує деформацію потоку повітря.

Реалізовано програмний продукт який розраховує геометричні параметри вітроустановки.

Даний програмний продукт пройшов тестування Інститутом відновлюваної енергетики НАН України та був прийнятий на використання про що було складений відповідний акт.

Abstract

Thesis has 70 page volume, contains 21 pictures and 11 used links.

The purpose of the development is the implementation of Windows-based software, which enables the engineer-designer to determine and calculate the parameters of the rotor wind turbine.

The calculation is made according to the theory of G. H. Sabinin by the equation of communication, which relates the width of the blade, the coefficient of lifting force and the magnitude that characterizes the deformation of the air flow.

A software product that calculates the geometric parameters of the wind turbine is implemented.

This software product was tested by the Renewable Energy Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine and was approved for use by the relevant Act.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЄС – Євросоюз;

НВДЕ – нетрадиційні та відновлювані джерела енергії;

МЕА – Міжнародне енергетичне агентство;

ВЕУ – вітро-електро установка;

API - прикладний програмний інтерфейс;

GUI – графічний інтерфейс користувача.

ВСТУП

В сучасному світі питання отримання енергії, а зокрема електроенергії є вкрай важливим.

У наш час альтернативна енергетика разом із застосуванням відновлюваних і нетрадиційних енергетичних джерел стає одним із важливих напрямків світової енергетики.

Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії стали останнім часом одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання. Головними причинами такої уваги є очікуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, шкідливий вплив на довкілля, наслідки якого все більше і більше турбують світовому спільноту.

До НВДЕ будемо відносити гідроелектростанції (великі, середні та малі), геотермальну, сонячну, фотоелектричну та теплову енергію, енергії припливів, хвиль океану, вітру, тверду біомасу, гази з біомаси, рідкі біопалива та відновлюванні муніципальні відходи (ці види енергії за визначенням МЕА – відновлювані джерела енергії), а також теплоенергію „створювану” завдяки тепловим насосам, торф, шахтний метан та вторинні джерела енергії, такі як: скидне тепло, муніципальні промислові відходи, тиск доменного газу та природного газу під час його транспортування.

Для України питання використання альтернативних енергетичних джерел стоїть досить гостро. Цьому є дуже багато причин. Це застарілі технології, вичерпані ресурси основних фондів виробництва електроенергії та тепла, які разом із слабкою ефективністю призводять до великої кількості шкідливих викидів. Крім того, дуже великі втрати під час транспортування, розподілу та використання електроенергії та тепла, разом із монопольною залежністю від імпортованих енергоносіїв ще більше погіршують ситуацію на енергетичному ринку України.

Протягом кожного року на нашу планету надходить енергії у п'ятнадцять тисяч разів більше ніж обсяги нинішнього використання усіма країнами світу. Приблизно 3% від усієї енергії сонця перетворюється на енергію вітру, а тому, реальні ресурси енергії вітру на Землі майже у 50 разів перебільшують сумарні потреби енергії людства.

Щорічний середній приріст вітроенергетики у світі є приблизно 27 відсотків. Це найвищий показник серед усіх інших енергетичних джерел.

У розвитку вітроенергетичної енергетики беруть участь більш ніж 70 країн. Серед них США, Німеччина, Іспанія, Китай, Індія та Данія мають найбільші вітроенергетичні потужності.

Американці до 2020 року мають ціль досягти більш як 15% виробленої електроенергії за рахунок вітру, вони вдосконалюють вітряки, турбіни, налаштовують діапазон різних швидкостей вітру.

За оцінками науковців Інституту електродинаміки та Інституту відновлюваної енергетики Національної Академії Наук України, Україна має великий потенціал у сфері відновлюваних джерел енергії, зокрема у вітроенергетиці.

Вчені підраховали, що при теперішньому рівні розвитку вітроенергетики зведення у «вітряних» областях України вітрових електростанцій надало б можливість покрити майже третю частину необхідності електроенергії, яка споживається нами.

Основною метою дипломної роботи є полегшення завдання проектувальника в проведенні розрахунків геометричних параметрів ротора вітроустановки, а саме написання програми за допомогою якою проектувальник мав би можливість швидко проводити розрахунки та знаходити необхідні параметри для створення вдосконалених вітряків.

Крім того за допомогою програми розрахунку геометричних параметрів роторів вітроустановки можливо запобігти перевитраті коштовних матеріалів, тобто зменшувати кошторис і витрати часу, в той же час збільшувати ефективність.

З допомогою програмних інструментів за той самий час можливо випробувати та прорахувати більше варіантів характеристик та параметрів, а виходячи з цього, можливо скоріше і з меншими витратами винайти найбільш ефективний вітряк.

1. ЗАДАЧА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРА ВІТРОУСТАНОВКИ

1.1 Призначення програмного продукту

Процес визначення усіх параметрів та розрахунку усіх характеристик є досить складним та залежить від багатьох змінних. Крім того за "Теорією ідеального вітряка" Г. Х. Сабініна за якою проводяться розрахунки є певні труднощі у зв'язку з якими розрахунки проводилися саме вручну, спроба застосувати програмну систему була не вдалою.

Призначенням даного продукту є полегшення роботи інженера-проектувальника та допомога у визначенні параметрів для подальшого використання їх інженерами які будуть реалізовувати проект, а також для розрахунку усіх характеристик. Крім того, стоїть задача по оптимізації витрати часу інженерів на знаходження оптимального варіанту проекту.

Для вирішення проблем у розрахунках в програмі пропонується можливість змінювати інженером проміжні дані для корегування остаточних розрахунків. Оскільки програма прораховує ідеальні з математичної точки зору параметри, за яких у подальшій побудові вітроустановки буде перевитрата коштовних матеріалів. Та можливе реальне погіршення ефективності установки.

1.2 Мета розробки

Метою розробки є реалізація Windows-орієнтованого програмного засобу, що надає можливість інженеру-проектувальнику визначити та розрахувати параметри ротора вітроустановки.

Дана задача включає в себе:

- створити можливість вводити вручну дані та завантажувати з файлу;
- написати покрокові розрахунки;
- додати можливість контролювати розрахунки та за потреби корегувати значення;
- створити вікно виводу розрахунків у зрозумілому вигляді для чіткого розуміння інженером.

Основними особливостями програмного продукту, які слід виділити, та можливостями, які буде мати інженер-проектувальник є:

- покроковий розрахунок;
- корегування даних;
- повернення до попередніх кроків для перерахунку кінцевих параметрів.

2. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РОТОРА ВІТРОУСТАНОВКИ

Розрахунок параметрів та усіх характеристик є досить складним та залежить від багатьох змінних. Дана задача була запропонована науковим інститутом, де вже була спроба, за власною ініціативою одного з співробітників, написати програму. Проте перша спроба була не вдалою.

2.1 Програма WindProfil

Програма WindProfil правильно рахувала лише одні перевіірочні дані та мала помилки через те що рахувала ідеальний варіант з точки зору математичних розрахунків. На рисунках 2.1 та 2.2 зображена дана програма.

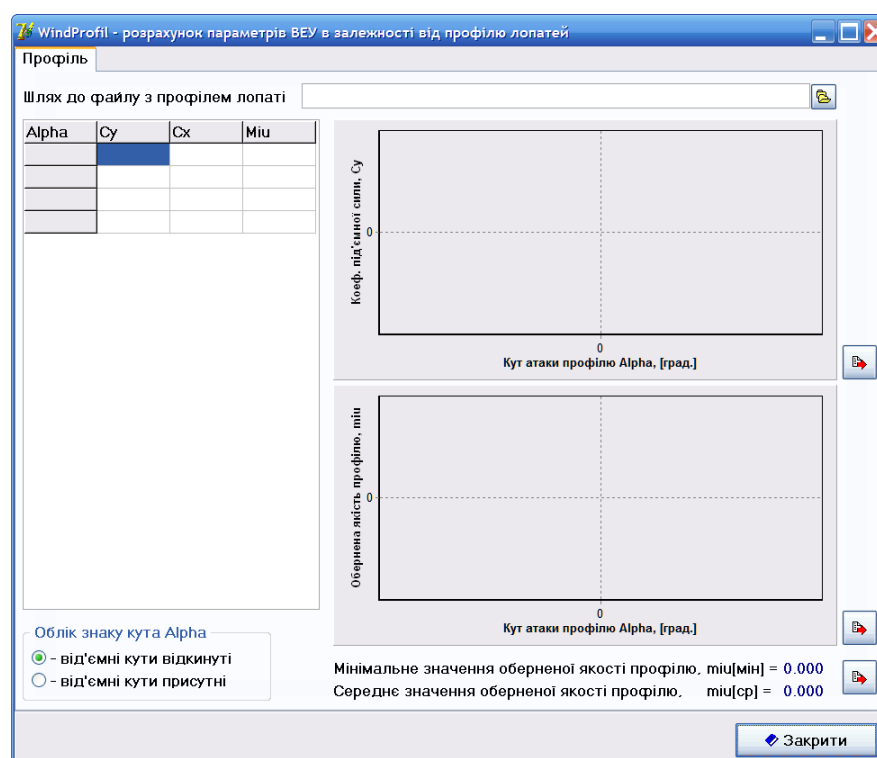


Рисунок 2.1 — Програма WindProfil, введення профіля для розрахунків

WindProfil - розрахунок параметрів ВЕУ в залежності від профілю лопатей

Профіль Початкові дані

№	Параметр	Позначення	Од.вим.	Значення
1	Потужність споживача	P	кВт	3
2	Середня за період швидкість вітру	Vsr	м/с	4
3	Коефіцієнт потужності ВЕУ	zeta		0.4
4	Кількість модулів	z		3
5	Коефіцієнт регулювання	kr		2.0
6	Початкова кількість лопатей	lambda		3
7	Середня обернена якість профілю	Miu_sr		0.095
8	Мінімальна обернена якість профілю	Miu_min		0.045
9	Коефіцієнт корисної дії (ККД)	eta		0.9
10	Подовження	u=R/b		5.3
11	Коефіцієнт перерізу	k02		1.5
12	Мінімум відносного радіусу	Rotn_min		0.2
13	Максимум відносного радіусу	Rotn_max		1.0
14	Кількість вузлів відносного радіусу	mRotn		10
15	Початкове значення коефіцієнта гальмування	e0		0.0
16	Мінімум коефіцієнта гальмування	e1		0.0
17	Максимум коефіцієнта гальмування	e2		0.4
18	Максимальна кількість модулів	Zmax		9
19	Швидкість відключення ВЕУ	Vout	м/с	20
20	Крок зміни кількості модулів	Zstep		1.0

Записати

Читати

Обробити початкові дані

Тип ВЕУ за обертанням лопатей
☒ - швидкохідний ☐ - тихохідний

Примітка: Для тихохідних ВЕУ кількість модулів $z = [1.5 \dots 2.5]$
 Для швидкохідних ВЕУ кількість модулів $z = [2.5 \dots 7.0]$
 Коефіцієнт потужності ВЕУ $zeta = [0.3 \dots 0.4]$

Закрити

Рисунок 2.2 — Програма WindProfil, введення початкових даних та вже розрахованих параметрів

Дана програма була написана мовою Delphi, автор намагався детально розділити кінцеві розрахунки та подати результати у великому обсязі усіх параметрів, навіть проміжних та допоміжних, які використовуються лише для розрахунків. На рисунку 2.2 зображено приклад результату розрахунків геометричних параметрів ротора у програмі WindProfil.

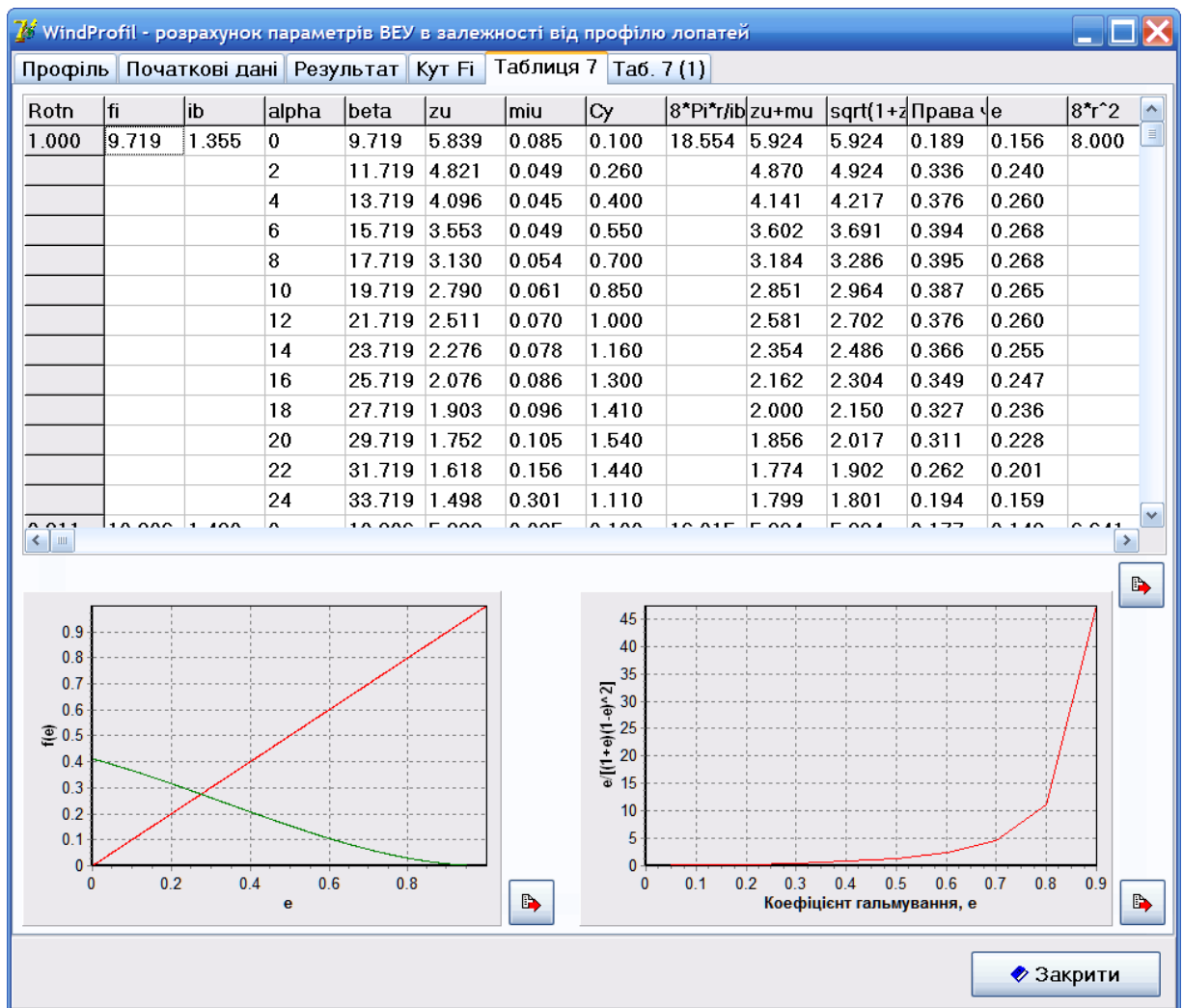


Рисунок 2.1 — Результат розрахунків геометричних параметрів ротора у програмі WindProfil

Оскільки крім того що програма була застарілою вона не правильно розраховувала параметри, не влаштовувала інженерів та не відповідала потребам. Проаналізувавши програму яку намагалися розробити було виявлено що саме через те що користувач не міг контролювати розрахунки програма рахувала не так як треба, оскільки підбирала значення не враховуючи інші варіанти.

Крім того проаналізувавши дану програму, було виявлено що оскільки комп'ютер рахує занадто точно, остаточні розрахунки були не вигідними з точки зору виробництва, тому що могла відбуватися перевитрата коштовних матеріалів та не оптимальними з точки зору ефективності. Ця проблема описана у теорії ідеального вітряка за якою проводяться розрахунки.

2.2 Розрахунок в програмі Exel

Співробітники наукового інституту також намагалися проводити розрахунки в програмі Exel. Але це лише частково полегшувало роботу, оскільки робота в таблицях мала безліч незручностей. Оскільки певні розрахунки потрібно було вводити вручну, та частину навіть рахувати окремо на калькуляторі та власноруч підбирати необхідні параметри. Зручністю роботи в Exel є лише те що усі графіки та таблиці можна відразу відобразити у вигляді графіків, але для того щоб аналізувати результати графіки не є необхідними а лише полегшують сприйняття. Та це є лише візуалізація чисел. На рисунку 4.2 наведено приклад розрахунків.

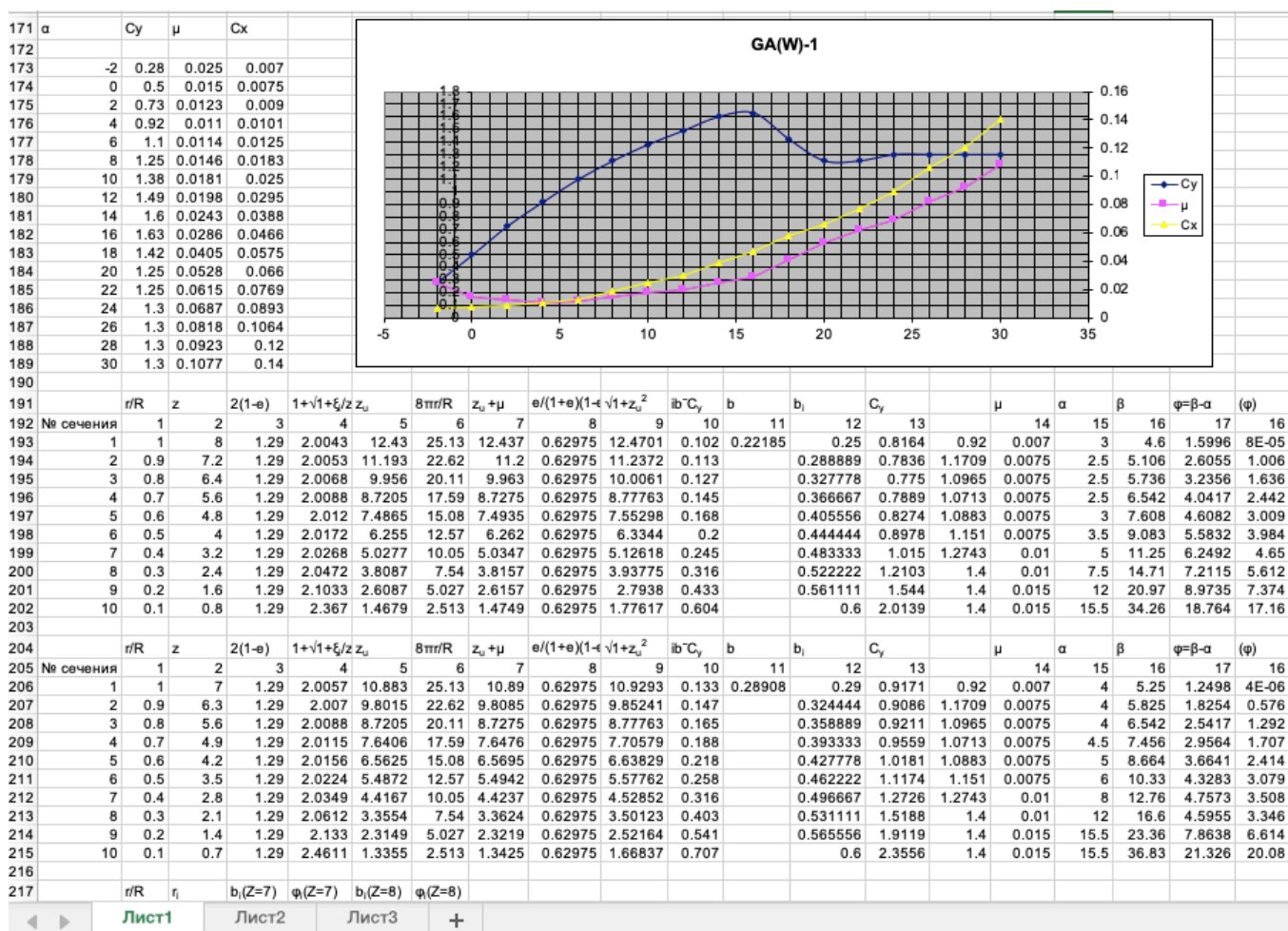


Рисунок 2.2 — Розрахунки в програмі Exel

Тому була поставлена задача щоб програма мала покрокові розрахунки, була можливість контролювати їх та за потреби корегувати значення та щоб інтерфейс був у зрозумілому вигляді для чіткого розуміння інженером.

2.3 Проблема ідеального вітряка

Кінцевий розрахунок проводиться за теорією Г. Х. Сабініна по рівнянням зв'язку, які пов'язують ширину лопаті, коефіцієнт підйомної сили та величину, яка характеризує деформацію потоку повітря.

При розрахунку використовується профіль, який є діаграмою значень C_y (коефіцієнт підйомної сили лопаті) та μ (якість профіля лопаті) в залежності від α (кут атаки)

Для розрахунку ширини лопаті на кінці приймається значення C_y з урахуванням мінімізації втрат на кінці лопаті при мінімальному значенні μ , але зменшенню C_y слідує збільшення ширини лопаті та призводить до надлишкового використання матеріалів, тому краще вибирати μ до початку різкого зростання.

Крім того, далі беруться значення C_y за виключенням тих які реальний профіль не має, тобто значень які до початку різкого спадання, для них приймається максимальне значення C_y .

Отже за теорією Сабініна ідеальна вітроустановка не є оптимальною через можливу перевитрату матеріалів.

Тому, оскільки для визначення оптимальних параметрів необхідно втручання інженера для вибору найбільш підходящих значень, необхідно щоб програма мала покроковий розрахунок та була можливість корегувати запропоновані програмою значення.

2.4 Висновки до розділу

Отже жодний з відомих програмних методів за яким проводилися розрахунки геометричних параметрів ротора вітроустановки не задовольняє потреб. Розглянуті програмні рішення усі мають недоліки.

Крім того розглянувши теорію Г. Х. Сабініна ідеального вітряка можна зробити висновок що усі розрахунки програмі довірити не можна, та на прикладі програми WindProfil це можна побачити.

Тобто можна зробити висновок, що це справді актуально та необхідно краще програмне забезпечення, яке буде відповідати сьогоdnішнім задачам і надасть очікуваний результат: зробить продуктивними витрати часу та ресурсів в проектуванні вітряків.

3. МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРА ВІТРОУСТАНОВКИ

3.1 Вітроустановки малої потужності

У даній роботі розглядається визначення характеристик для вітроустановок малої потужності, без акумулюючої і розподіляючої частин. З певною часткою умовності їх можна поділити на тихохідні і швидкохідні.

Тихохідні (з великою кількістю лопатей) використовуються, в основному, для виконання механічної роботи (приводи сільськогосподарських машин, поршневих насосів і т.д.).

Швидкохідні (з малою кількістю лопатей) використовуються, в основному, для виробництва електроенергії, де визначальним показником є кутова швидкість, а не крутний момент.

Оскільки завдання — виробництво електроенергії, то розглядаються саме швидкохідні вітроустановки, що працюють за рахунок аеродинамічній підйомної сили, а не за рахунок сили лобового тиску, як тихохідні.

Швидкохідні вітроустановки в свою чергу можна поділити на горизонтально-осьові і вертикально-осьові.

3.2 Ротори Дар'є

Серед швидкохідних вертикально-осьових ВЕУ найбільшого поширення набули так звані ротори Дар'є. Принцип його роботи заснований на тому, що виникає при обертанні аеродинамічна підйомна сила створює тягне крутний момент в будь-якій точці траєкторії руху лопаті, крім двох «мертвих» точок, розташованих на діаметрі траєкторії, перпендикулярній до напрямку вітру.

На рисунку 3.1 зображено принцип роботи ротора Дар'є.

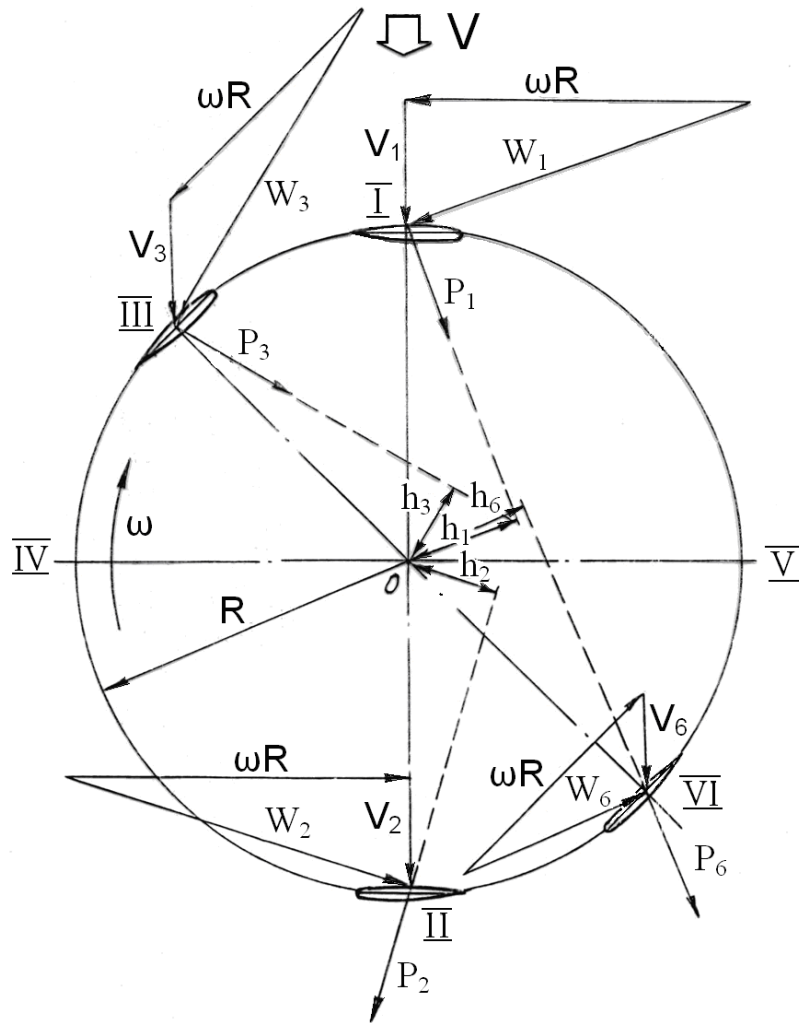


Рисунок 3.1 — принцип роботи ротора Дар'є.

- V_i — швидкість вітру;
- W_i — результуючий набігає на лопать повітряний потік;
- P_i — результуюча підйомна сила;
- h_i — плече дії сили P_i

Таким чином, у роторів Дар'є лопаті створюють корисну роботу, як з навітряного, так і з підвітряного боку. Лопать при цьому повинна бути неповоротною і мати симетричний профіль. Коефіцієнт використання енергії вітру у таких ВЕУ може досягати 0,4.

До незаперечних переваг цих систем можна віднести:

- високе значення коефіцієнта використання енергії вітру, що досягає 0,4;

- розташування основного силового обладнання на поверхні землі біля основи опори;
- відсутність системи орієнтації ротора в напрямку вітрового потоку.

До недоліків роторів Дар'є відносяться:

- неможливість самозапуску, так як для нормальної роботи роторам Дар'є необхідна складова окружної швидкості;
- у них не може бути реалізований принцип регулювання кутової швидкості ротора зміною кута атаки лопатей, так як лопаті за умовою мають симетричний профіль, встановлені під кутом 0° до дотичній траєкторії руху;
- розподіл мас ротора (лопатей) в силу конструктивних особливостей виконано по периферії захоплюваної поверхні, що призводить до значних динамічних навантажень на опору в разі виникнення найменшої дисбалансу. Своєю лепту до цих навантажень вносить опора, що створює аеродинамічну «тінь» з підвітряного боку, при взаємодії з якою виникають додаткові динамічні навантаження.

Крім того у таких конструкціях регулювання здійснюють величиною підключеного навантаження, в разі зникнення якої з тих чи інших причин вітроустановка стає некерованою з усіма наслідками, що випливають звідси.

3.3 Горизонтально-осьові вітроустановки

У вертикально-осьових вітроустановок є велика кількість недоліків. Виходячи з того, що це суттєво впливає на ефективність і результативність установки, найбільшого поширення набули трилопатеві горизонтально-осьові вітроустановки. Розглянемо детально вітроустановку, щоб зрозуміти важливість прорахунку кожного з параметрів проекту та їх пропорційність.

На рисунку 3.2 зображена будова вітроустановки.

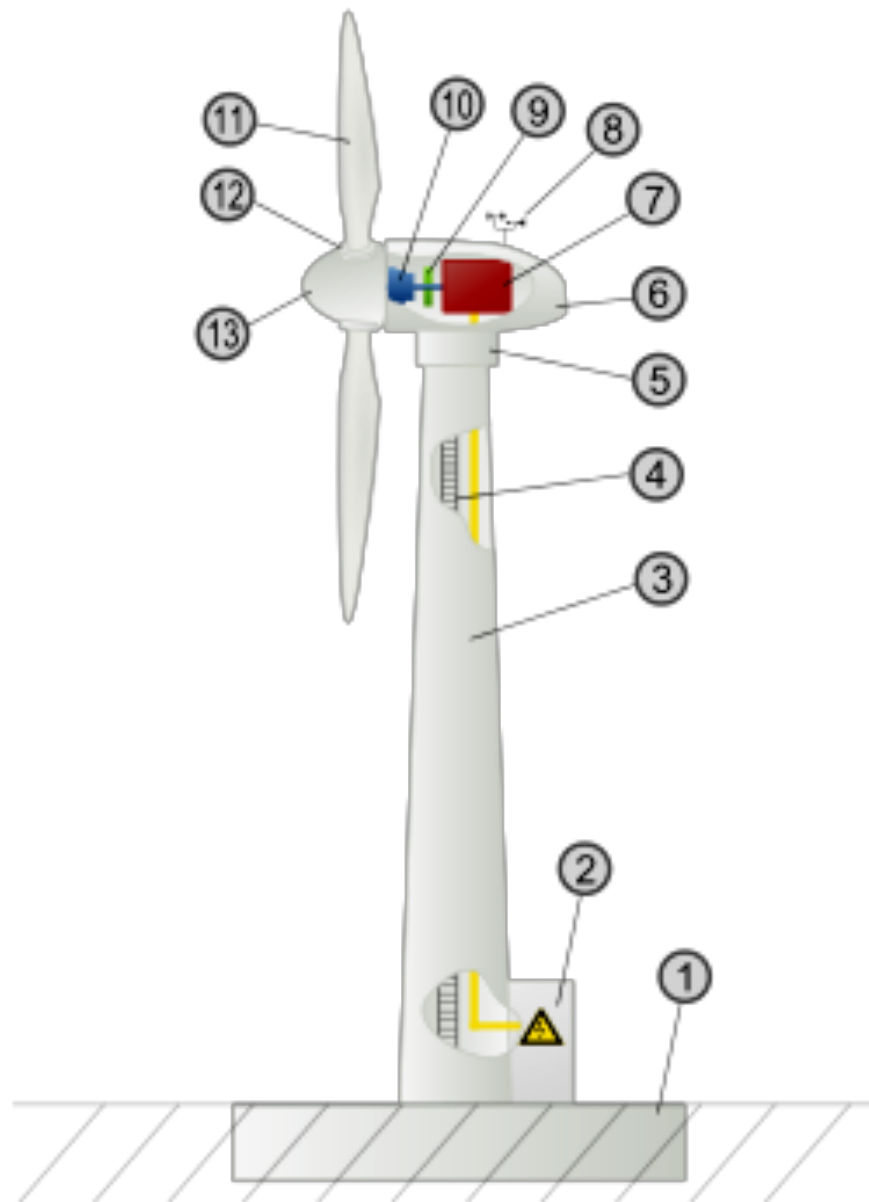


Рисунок 3.2 — Будова вітроустановки.

Будова вітряної установки:

1. Фундамент;
2. Силовий шафа, що включає силові контактори й ланцюги управління;
3. Вежа;
4. Сходи;
5. Поворотний механізм;
6. Гондола;
7. Електричний генератор;

8. Система слідування за напрямком і швидкістю вітру (анемометр);
9. Гальмівна система;
10. Трансмісія;
11. Лопаті;
12. Система зміни кута атаки лопаті;
13. Ковпак ротора; Система пожежогасіння; Телекомунікаційна система для передачі даних про роботу вітро генератора; система блискавкозахисту.

Пункти 11 — 13 є саме роторною частиною геометричні параметри якої необхідно розрахувати.

Вони мають найвище значення коефіцієнта потужності в реальних умовах експлуатації доходить до 0,45. Тут слід зауважити, що за класичною теорії Жуковського М.Є. для ідеального ротора максимально можливе значення коефіцієнта потужності може становити 0,593, а по теорії Сабініна Г.Х — 0,687. Ця різниця викликана тим, що при визначенні осьової сили тиску потоку на ротор розглядалося перетин потоку в різних перетинах.

В першому випадку — в момент утворення вихрового соленоїда.

У другому — в тому місці, де він вже прийняв циліндричну форму і має площу трохи більшу, ніж поверхня, досягнута ротором.

З цих причини значення виходить більшим, також як і коефіцієнт лобового тиску, а швидкість вітру, втрачена на роторі — менше, ніж за класичною теорії Жуковського М.Є.

Слід підкреслити, що значення виведені для ідеального ротора, який характеризується:

- вісь обертання ротора паралельна вектору швидкості вітру;
- ротор містить нескінченно велика кількість лопатей дуже малої ширини;
- профільне опір лопатей дорівнює нулю і циркуляція уздовж лопаті постійна;
- втрачена швидкість повітряного потоку на роторі постійна на всій захоплюваній площі;

- кутова швидкість ротора прямує до нескінченності, а його момент до нуля.

Оскільки швидкохідні горизонтально-осьові ВЕУ знайшли найбільш широке поширення, в них добре відпрацьовані системи регулювання кутової швидкості, системи орієнтації ротора в напрямку вітрового потоку та інші.

Отже дана задача, а саме визначення геометричних параметрів ротора вітроустановки розраховується за "Теорією ідеального вітряка" Г. Х. Сабініна. Під геометричними параметрами мається на увазі геометричні характеристики самих лопатей.

3.4 "Теорія ідеального вітряка" Г. Х. Сабініна

Для знаходження необхідних значень лопать умовно ділять на 10 рівних частин, далі для кожного з перерізів потрібно знайти:

- ширину лопаті в перерізі (b_i);
- коефіцієнт підйомної сили лопаті (C_y);
- якість профіля лопаті (μ);
- кут атаки (α);
- кут установки лопаті (φ).

Кінцевий розрахунок проводиться за рівняннями зв'язку, які пов'язують ширину лопаті, коефіцієнт підйомної сили і величину, яка характеризує деформацію потоку повітря.

Приймається трапецеїдальна форма лопатей з співвідношенням основи і кінця лопаті від 2,5 до 3. Параметри розрахунку зображені на рисунку 3.3.

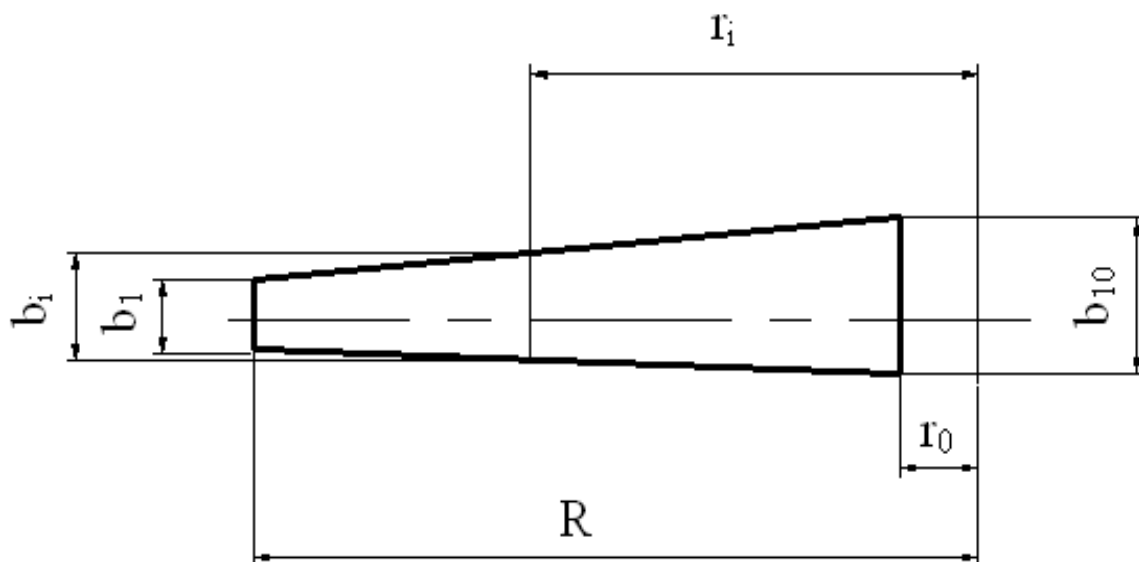


Рисунок 3.3 — Параметри розрахунку лопаті

Де:

b_i — ширину лопаті в перерізі;

b_1 — ширина лопаті на кінці;

b_{10} — ширина лопаті на основі;

r_i — радіус перерізу лопаті;

R — радіус кінця лопаті;

r_0 — радіус основи лопаті.

При розрахунку використовується діаграма значень C_y та μ в залежності від α , яка називається профілем, на рисунку 3.4 наведено профіль NASA-0018.

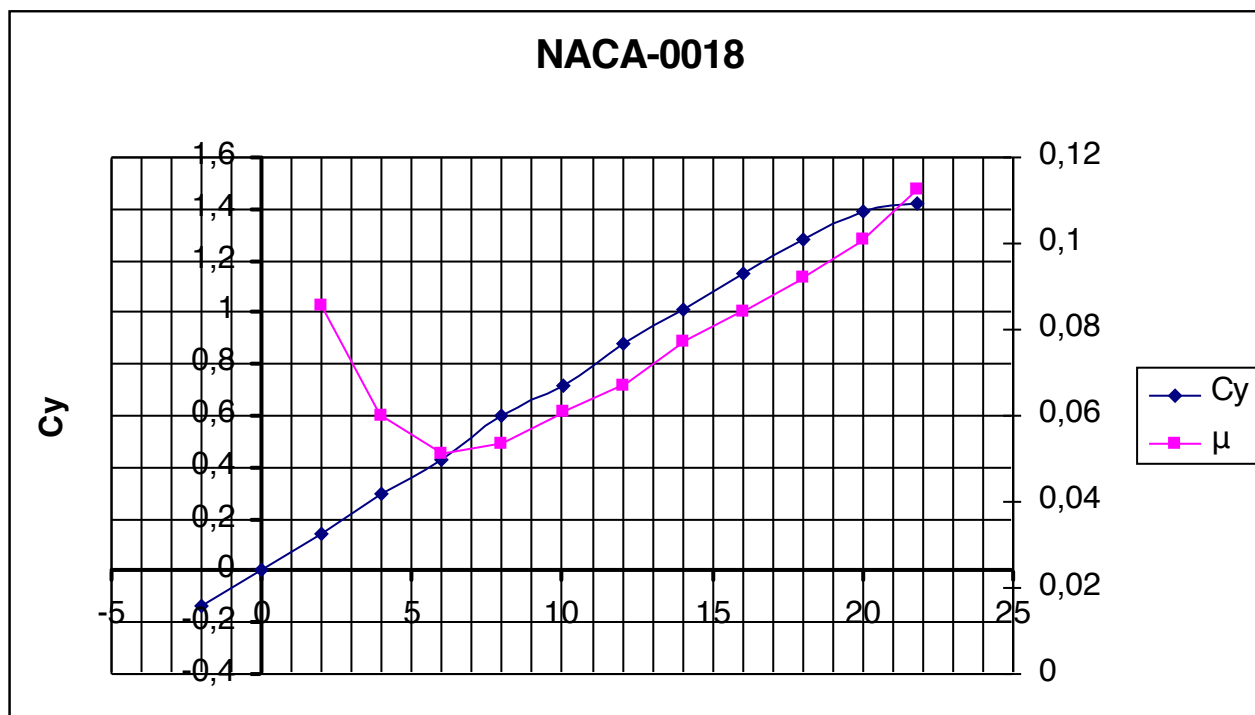


Рисунок 3.4 — Графік залежності C_y і μ від α . Профіль NACA-0018

Для розрахунку ширини лопаті на кінці C_y приймається з урахуванням мінімізації втрат на кінці лопаті при мінімальному μ згідно з графіком на рисунку 3.1 (в даному випадку при $\alpha=6^\circ$ і $C_y=0,43$). Проте, зменшення C_y призведе до збільшення ширини лопаті та надлишковому використанню матеріалів, тому вибирають μ приблизно $\alpha=17^\circ$ та $C_y=1,23$ до початку різкого зростання μ .

Далі беруться значення C_y за виключенням тих які реальний профіль не має, для них приймається максимальне значення C_y .

3.5 Висновки до розділу

Розглянувши питання якими мають бути геометричні характеристики вітряка перш за все слід відмітити, що для виробництва електроенергії, необхідно розглядати саме швидкохідні вітроустановки, які працюють за рахунок аеродинамічної підйомної сили.

Крім того найбільш продуктивна з більшим коефіцієнтом корисної дії є горизонтально-осьова вітроустановка. Так як у вертикально-осьових вітроустановок

є багато недоліків то найбільш часто віддають перевагу саме трилопатеvim горизонтально-осьовим вітроустановкам, які є більш ефективними та практичними.

Було визначено що найкращим методом розрахунку геометричних параметрів ротора вітроустановки є метод Г. Х. Сабініна за його теорією ідеального вітряка.

Розглянувши проблему з розрахунком параметрів за теорією ідеального вітряка було зроблено висновок, що для більш коректного розрахунку необхідно корегувати дані в програмі та підлаштовувати розрахунки, щоб кінцеві параметри були більш оптимальними та не було перевикористання коштовних матеріалів при виробництві вітряка.

4. ЗАСОБИ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

Для створення даного програмного продукту було використано середовище Microsoft Visual Studio 2015 та мову програмування C#.

З використанням технологій .Net та Windows Forms було розроблено програму, яка дає можливість інженеру-проектувальнику визначати геометричні параметри ротора вітроустановки та ідеальне їх співвідношення, що дає можливість створити ефективну установку.

4.1 Середовище розробки Visual Studio

Інтегроване середовище розробки Visual Studio 2015 створено компанією Microsoft. Це оригінальне середовище запуску, яке дозволяє редагувати, налагоджувати і створювати код, а потім публікувати додатки.

Інтегроване середовище розробки (IDE) — це багатофункціональна програма, яку можна використовувати для різних аспектів розробки програмного забезпечення. Крім стандартного редактора і налагоджувача, які існують в більшості середовищ IDE, Visual Studio включає в себе компілятори, засоби виконання коду, графічні конструктори і багато інших функцій для спрощення процесу розробки програмного забезпечення.

Середовище Visual Studio надає можливість створювати додатки для операційних систем Windows, iOS, Android та інших платформ.

Написання коду можливе на багатьох мовах, а саме: C#, C++ , JavaScript, TypeScript, Visual Basic, F#, Python.

На рисунку 4.1 зображено приклад інтерфейсу Visual Studio 2015.

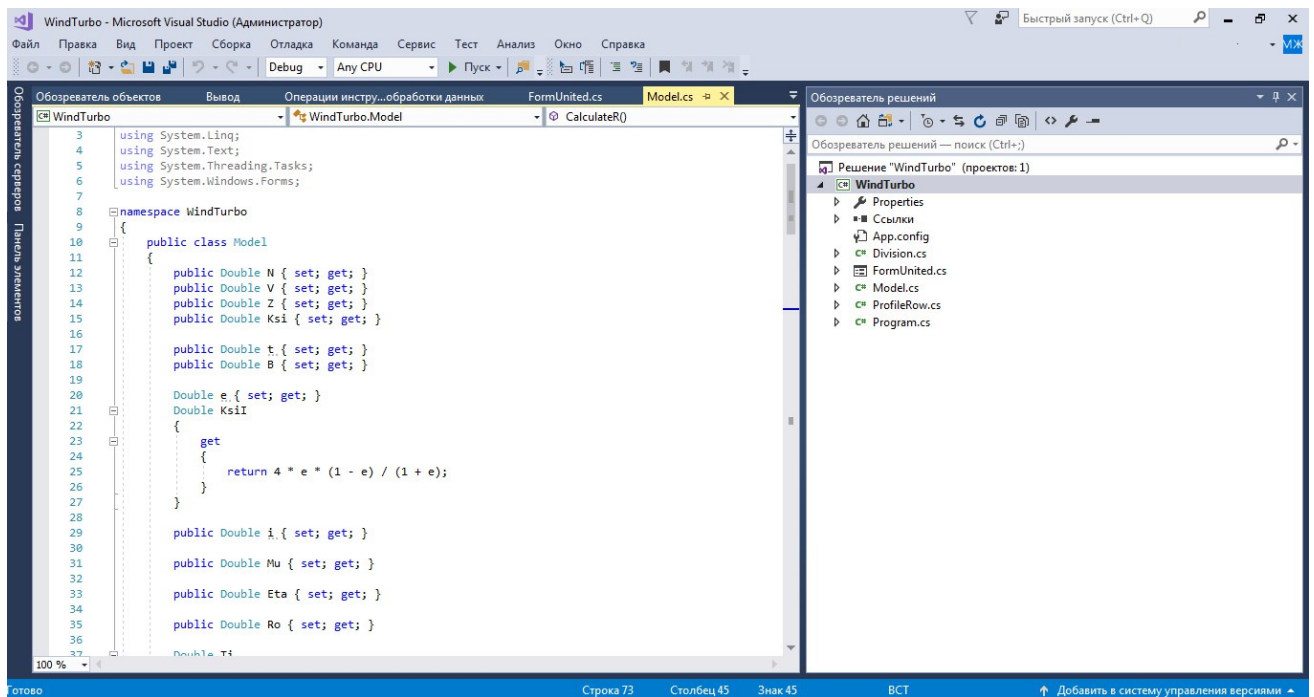


Рисунок 4.1 — Приклад інтерфейсу Visual Studio 2015

На рисунку 4.1 зображено Visual Studio з відкритим проектом і декількома вікнами основних інструментів, які вам, швидше за все, знадобляться:

Оглядач рішень (праворуч) дозволяє переглядати файли коду, пересуватися по ньому і управляти ними. Оглядач рішень дозволяє впорядкувати код шляхом об'єднання файлів в рішення і проекти.

У вікні редактора, де зазвичай програміст проводить більшу частину часу, відображається вміст файлу. Тут можна редагувати код або розробляти призначений для користувача інтерфейс, наприклад вікно з кнопками або текстові поля.

Системні вимоги для встановлення інтегрованого середовища розробки Visual Studio 2015:

- Процесор з тактовою частотою 1,6 ГГц та більше;
- 1 ГБ ОЗУ (1,5 ГБ при виконанні в віртуальній машині);
- 10 ГБ доступного місця на жорсткому диску;
- Жорсткий диск 5400 об/хв.;
- Відеоадаптер з підтримкою DirectX 9 (розширення не менше 1024x768).

Версії ОС що підтримуються:

- Windows 10
- Windows 8.1
- Windows 8
- Windows 7 с пакетом оновлення 1 (SP1)
- Windows Server 2012 R2
- Windows Server 2012
- Windows Server 2008 R2 с пакетом оновлень 1 (SP1)

4.2 Мова програмування C#

C# — це об'єктно-орієнтована мова програмування, яка має безпечну систему типізації для платформи .NET. Синтаксис C# дуже близький до C++ або Java.

C# перейняв багато від своїх попередників, але виключає деякі моделі, що показали себе, як проблематичні при розробці програмних систем. До таких моделей можна віднести множинне спадкування класів, чого немає на відміну від C++.

В порівнянні з мовами-попередниками, можна сказати, що нововведенням C# стала можливість легшої взаємодії з кодом програм, написаних на інших мовах. Це є дуже важливим при створенні великих проектів.

Якщо програми на різних мовах виконуються на платформі .NET, всі труднощі щодо сумісності програм .NET бере на себе: це типи даних, за кінцевим рахунком.

4.3 Технології, використані при розробці програмного продукту

Для написання коду програмного засобу були також використані такі технології як .Net та Windows Forms за допомогою якої було створено інтерфейс програми.

Це новітні технології, які спираючись на попередні досягнення та виключаючи

незручності та недосконалості, дають нові можливості для створення програмних продуктів.

4.3.1 Програмна технологія .Net

Технологія Microsoft .NET — програмна технологія для створення звичайних програм і веб-застосунків, яка була створена фірмою Microsoft.

Ця технологія багато в чому є продовженням ідей, принципів, цілей, що були покладені в технологію Java. Наприклад, одна з ідей .NET є сумісність служб, написаних різними мовами. Таку ж саму особливість має і Java.

В .NET усунені можливі конфлікти між різними версіями збірок, бо кожна бібліотека в .NET має свідчення про свою версію.

Всі компілятори для .NET випускаються багатьма фірмами і для різних мов вільно. Можна сказати, що технологія .NET поділяється на дві частини: перша — середовище виконання, як віртуальна машина, а друга — інструментарій самої розробки.

До середовища розробки .NET-програм можна віднести : Visual Studio .NET (C++, C#, J#), Borland Developer Studio (Delphi, C#) та інші.

А середовище Eclipse має ще додаток для розробки .NET-програм. Ще одна особливість — це те, що застосовні програми також можна розроблювати в текстовому редакторі, крім того можна використовувати консольний компілятор.

Як і технологія Java, середовище розробки .NET створює байт-код. Байт-код призначений для виконання його віртуальною машиною. В .NET ця вхідна мова віртуальної машини називається CIL (Common Intermediate Language), ця мова більш відома як MSIL (Microsoft Intermediate Language), чи просто IL.

Важливо те, що застосування байт-коду дозволяє отримати крос-платформність на рівні скомпільованого проекту, або просто .NET: збірка, не на рівні сирцевого тексту. Байт-код перед запуском збірки в середовищі виконання (CLR) перетворюється вбудованим в середовище JIT-компілятором (just in time, компіляція на льоту) в машинні коди цільового процесора.

На рисунку 4.2 зображено стек технологій .Net.

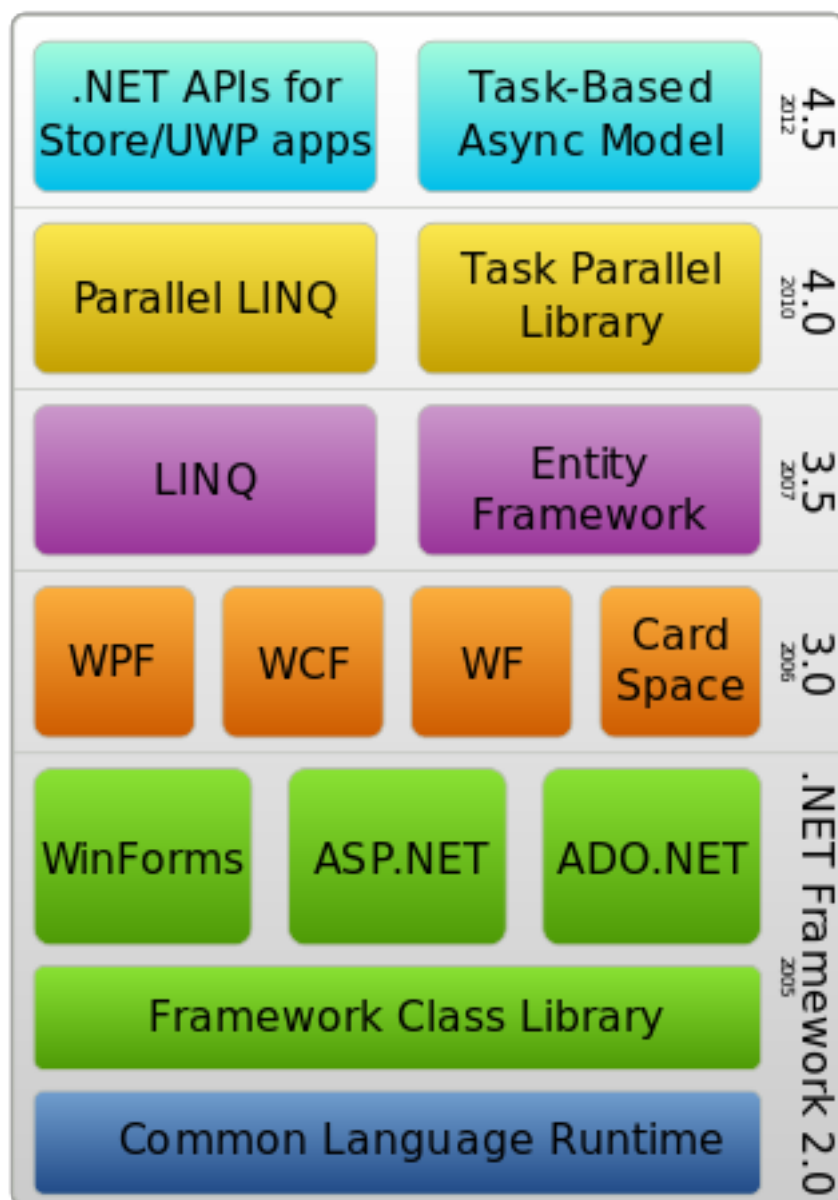


Рисунок 4.2 — Стек технологій .Net.

4.3.2 Модель програмування Windows Forms

Модель програмування Windows Forms — новий стиль створення програми або сучасна модель програмування, за допомогою якого можна писати GUI додатки.

Windows Forms створюють більш однорідну структуру, усувають деякі суперечності і мають більше можливостей: наприклад, зберігає стиль, вказаний в створенні попереднього вікна.

Можна відмітити, що додатки, написані з використанням Windows Forms, вимагають меншої кількості коду, ніж додатки, створені за допомогою Windows API або MFC.

Windows Forms — одна з найбільш цікавих можливостей Microsoft .NET. Якщо ви знайомі з MFC (або Windows API), то Windows Forms гарний початок для роботи з .NET Framework class library, тому що вона дозволяє писати традиційні GUI додатки з вікнами, формами і т.п. речами.

Одного разу, почавши працювати з Windows Forms ви зможете швидко зрозуміти .NET Framework.

Особливість додатків, створених в Windows Forms, в тому, що писати додатки можна на будь-якій мові, знання всього один API.

Програми, що використовують Windows Forms використовують класи System.WinForms. Цей розділ включає такі класи як:

- Form, який моделює поведінку вікон або форм;
- Menu, який представляє меню;
- Clipboard, який дає можливість додаткам Windows Forms використовувати буфер обміну.

Він також містить численні класи, які надають кошти управління, наприклад: Button, TextBox, ListView, MonthCalendar і т.д. Ці класи можуть бути включені в додаток або з використанням тільки імені класу, або з використанням повного імені, наприклад: System.WinForms.Button.

Багато додатків, написаних за допомогою Windows Forms, в основі містять похідний клас від System.WinForms.Form. Клас System.WinForms.Form має безліч властивостей, методів і широкий програмний інтерфейс до форм, а так само використовує кнопки, списки та інші типи компонентів Windows і використовує класи управління, які значно спрощують програмування управління: можна створити стилізовану кнопку з зображенням, фоном, налаштувати колір фону текстового поля.

На рисунку 4.2 зображено вікно графічного редактора Windows Form.

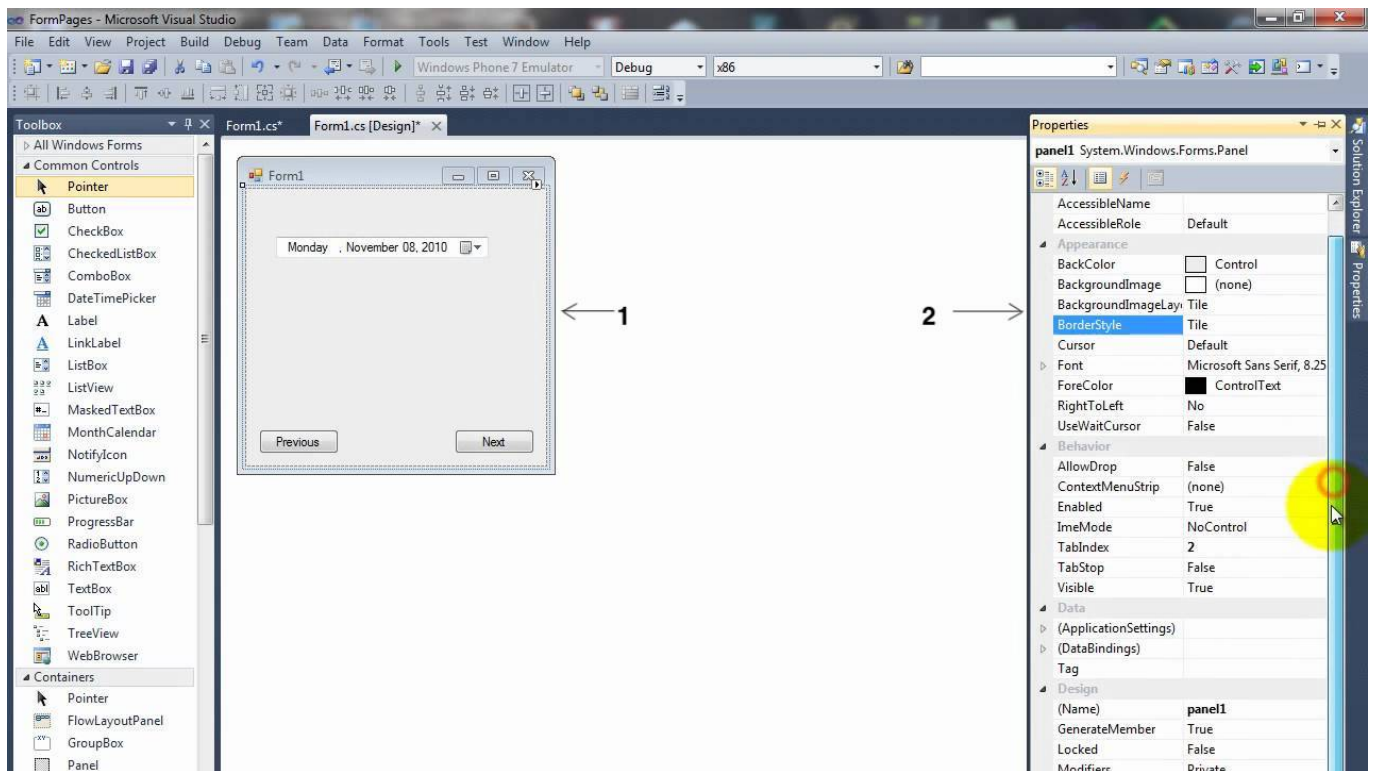


Рисунок 4.2 — Приклад вікна Windows Forms

На рисунку позначені:

- 1 — графічний дизайнер форми;
- 2 — вікно властивостей.

На рисунках 4.3 та 4.4 наведено приклади роботи в графічному редакторі.

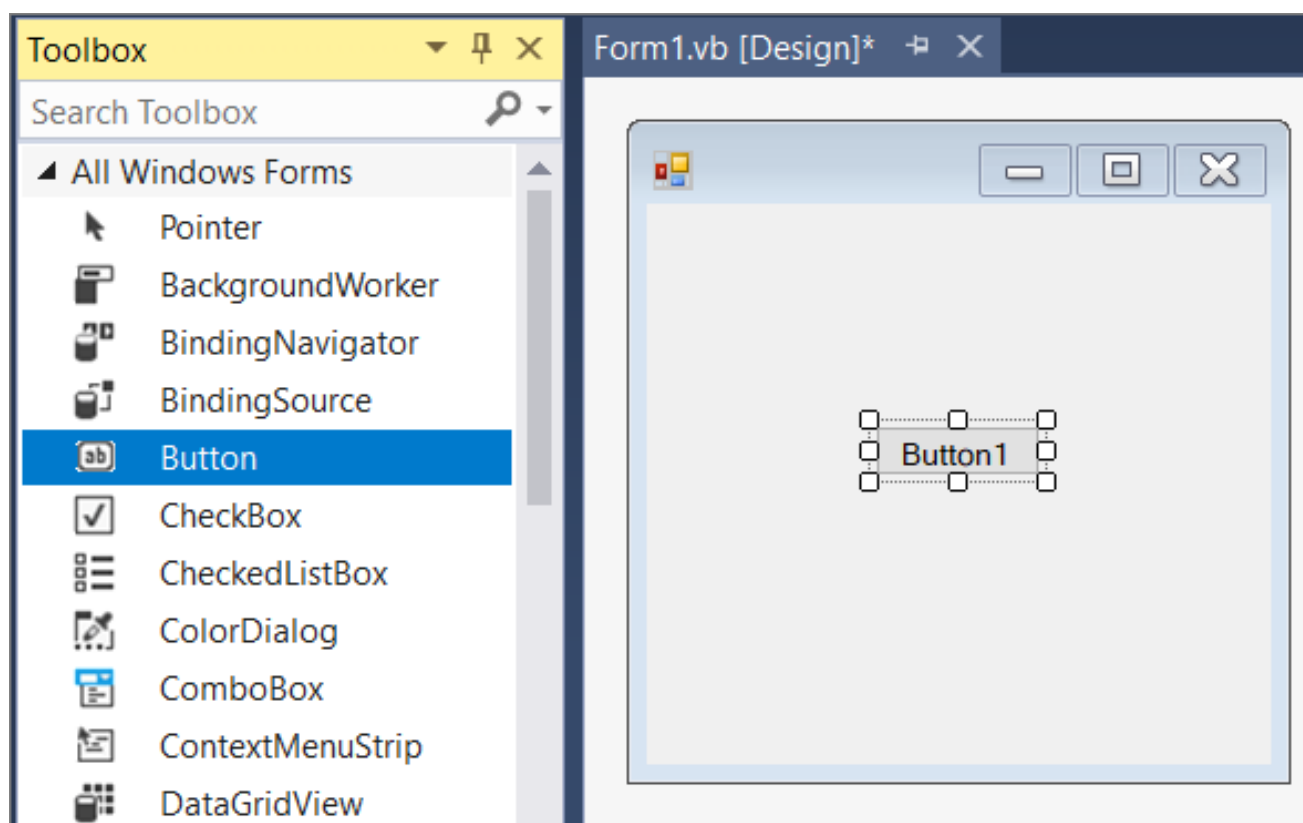


Рисунок 4.3 — Приклад створення кнопки у графічному редакторі Windows Forms

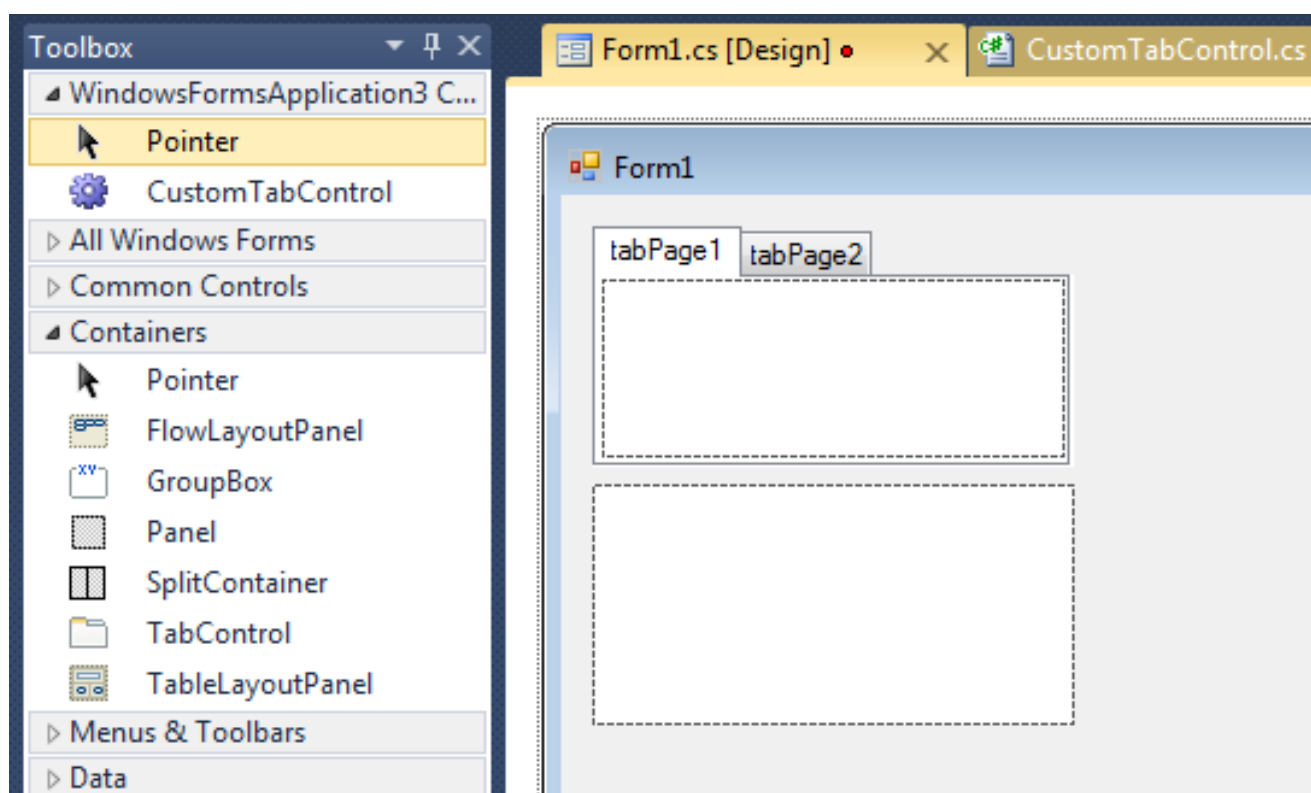


Рисунок 4.4 — Створення меню з вкладками у графічному редакторі Windows Forms

Клас `System.Windows.Forms.Application` — це важливий блок додатки, який містить статичний метод `Run`, для завантаження програм і відображення вікна. Багато класів `System.Windows.Forms` мають віртуальні методи, наприклад `OnPaint`, який можна перевизначити для формування інтерактивних форм.

4.4 Висновки до розділу

З використанням новітніх технологій та розробок: середовища `Microsoft Visual Studio`, мови програмування `C#`, технологій `.Net` та `Windows Forms` є можливість створити більш ефективний і більш функціональний програмний продукт. А програмний продукт, який полегшує та прискорює обробку даних, видає оброблену та консолідовану інформацію, в свою чергу допомагає створити ефективну вітроустановку.

5. ОПИС ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

У розробленому програмному продукті можна виділити такі основні складові:

- початкові вхідні дані;
- завантаження профіля з файлу, або введення вручну;
- розрахункова частина, в якій проводяться всі математичні операції покрокового розрахунку за запрограмованими формулами;
- інтерфейс з можливістю вводити дані, перемикається між кроками розрахунків, змінювати запропоновані програмою значення, бачити кінцевий результат та мати можливість повернутися для перерахунку.

Початкові вхідні дані — це значення які користувач повинен ввести для того щоб розпочати роботу в програмі.

Після чого у наступній вкладці користувач повинен завантажити з файлу профіль або ввести його вручну.

Профілем є діаграма значень C_y та μ в залежності від α подана в табличному вигляді.

Після опрацювання програмою профіля користувач повинен мати змогу відкоригувати розраховані програмою параметри.

Завершення розрахунків користувач повинен підтвердити натискання кнопки.

Та в кінці користувач має побачити в чітко зрозумілому вигляді результати, але мати можливість повернутися до розрахунків щоб за потреби перерахувати.

5.1 Реалізація формул для визначення геометричних параметрів ротора вітроустановки

Формули, за якими проводяться розрахунки, реалізовані мовою C#.

Уся обчислювана частина написана в одному класі, який містить реалізацію всіх формул, а саме для проміжних та основних розрахунків для визначення геометричних параметрів ротора вітроустановки.

Для виконання розрахунків написані обробники подій, які виконуються за натисканням на кнопки.

5.2 Створення графічного інтерфейсу

Графічний інтерфейс був створений за допомогою технології Windows Forms. Було створено головне вікно програми яке містить три вкладки з необхідними полями вводу та виводу даних і кнопками.

Одною із задач було розробити програму із зрозумілим та зручним інтерфейсом та особливо важливо щоб результати розрахунків були подані у чітко зрозумілому вигляді.

На рисунку 5.1 зображено інтерфейс програми.

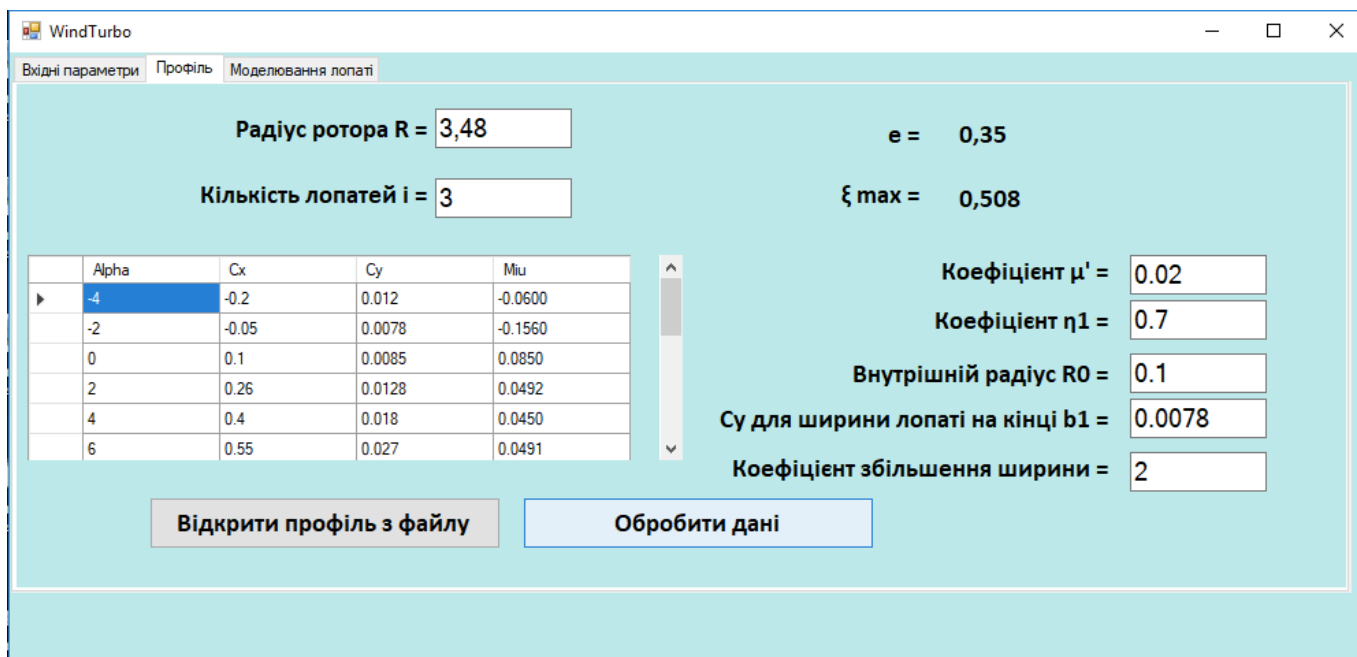


Рисунок 5.1 — Інтерфейс програми

Кожна вкладка відповідає певному кроку розрахунків.

Перша вкладка відповідає за початкове введення даних для попередніх розрахунків.

Друга вкладка — це проміжний крок з основними розрахунками, а також додаванням профіля за яким програма повинна рахувати геометричні параметри ротора.

Третя вкладка містить кінцеві розрахунки, а саме таблицю з геометричними параметрами ротора вітроустановки.

Разом з тим було написано обробники подій для кнопок, які відповідають за виконання розрахунків та переміщення між вкладками. Це надає змогу виконати розрахунки, скорегувати проміжні дані та отримати результат у зручному для інженера вигляді.

5.3 Структура програми

Розроблений програмний продукт представляє собою директорію , що має структуру яка зображена на рисунку 5.1 та на рисунку 5.2 зображено підключені сторонні бібліотеки.

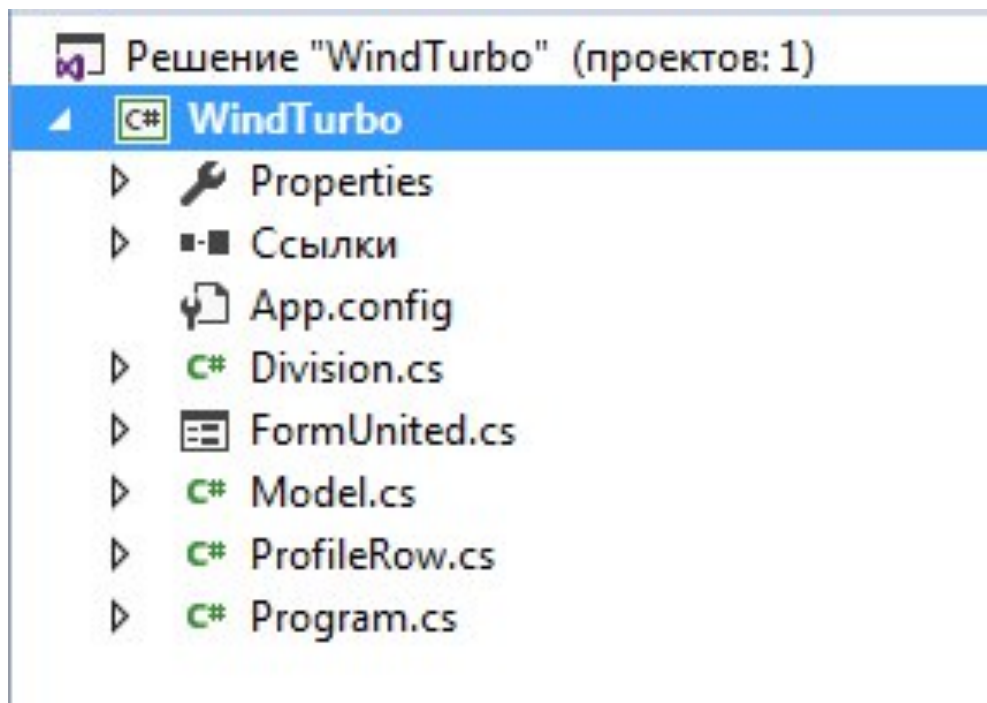
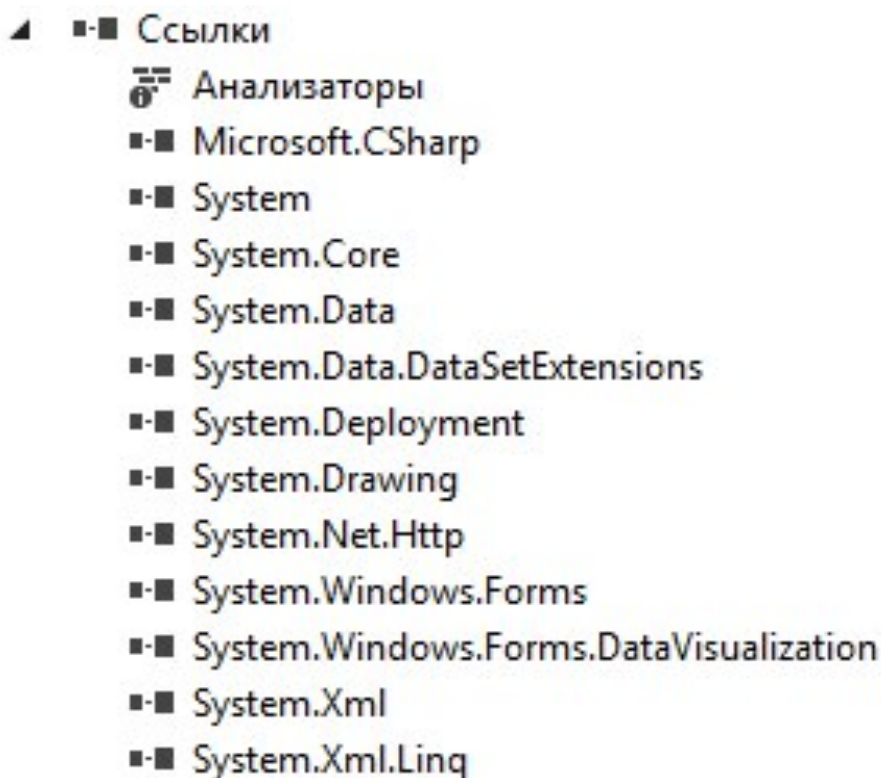


Рисунок 5.2 — Ієрархія програмного засобу



5.4 Висновки до розділу

Зручний ввід даних, можливість перемикатися між кроками розрахунків, змінювати значення, бачити кінцевий результат в зрозумілому вигляді та можливість повернутися для прорахунку — це саме той результат, який дає програмний продукт для проектування ефективної вітроустановки.

Реалізовано всі поставлені задачі основними особливостями яких є:

- покроковий розрахунок;
- корегування даних;
- повернення до попередніх кроків для перерахунку кінцевих параметрів.

6. РОБОТА КОРИСТУВАЧА З ПРОГРАМОЮ

Перш за все, слід відзначити, що дана програма створена спеціально для інженера-проектувальника вітроустановки. Тобто, користувач повинен розуміти кожен крок та кожне значення, оскільки в процесі виконання потрібно знати, які данні вводити та при необхідності корегувати розрахунки.

Проте розроблений програмний продукт має захист на введення не коректних даних, тобто якщо користувач буде намагатися ввести не реальні данні, програма повідомить, що розрахунок за таких параметрів неможливий.

6.1 Системні вимоги

Для встановлення розробленого програмного продукту персональний комп'ютер повинен мати процесор будь-якого виробництва з тактовою частотою не нижче 1.2 GHz.

Комп'ютер повинен мати будь яку операційну систему компанії Microsoft. А саме Windows 10, Windows 8, Windows 7 або Windows XP.

Щоб запустити та користуватися розробленим програмним продуктом інсталяція не потрібна. Все що необхідно зробити це запустити виконуваний файл WindTurbo.exe, після цього програма запуститься і з'явиться вікно.

6.2 Сценарій роботи користувача з програмою

Користувач взаємодіє з графічним інтерфейсом, що доступний як десктопний додаток.

Оскільки авторизація при запуску програми не відбувається, то користувач одразу бачить робочу область програми в якості першого вікна. Авторизація не відбувається, оскільки система не працює з даними, що мають обмежений доступ.

Саме тому зберігання інформації про користувача недоцільно. На рисунку 5.1 зображено вікно програми з початковим введенням вхідних параметрів.

WindTurbo

Вхідні параметри | Профіль | Моделювання лопаті

ВХІДНІ ПАРАМЕТРИ

Потужність вітро двигуна $N =$ к. с.

Швидкість вітру $V =$ м / с

Швидкохідність (число модулів) $Z =$

Коефіцієнт використання енергії вітру $\xi =$

Температура $t =$ °

Тиск $B =$ мм. рт. ст.

Рисунок 5.1 — Вхідні параметри

У першій вкладці інженер повинен ввести необхідні дані для початкових, підготовчих розрахунків. Після чого натиснути кнопку “Обробити дані” та перейти на наступну вкладку “Профіль”, яка зображена на рисунку 5.2.

В програмі додано захист на некоректне введення даних. Тобто користувач який буде вводити значення повинен ввести реальні параметр, тільки тоді програма буде рахувати.

Якщо користувач введе дані за якими не можливо проводити розрахунки програма повідомить про це, тобто покаже на помилку введення даних.

WindTurbo

Вхідні параметри | **Профіль** | Моделювання лопаті

Радіус ротора $R = 3,48$

Кількість лопатей $i = 3$

$e = 0,35$

$\xi_{\max} = 0,508$

	Alpha	Cx	Cy	Miu
*				

Коефіцієнт $\mu' = 0,02$

Коефіцієнт $\eta_1 = 0,7$

Внутрішній радіус $R_0 = 0,1$

Су для ширини лопаті на кінці $b_1 = 0,1$

Коефіцієнт збільшення ширини = 2

Відкрити профіль з файлу

Обробити дані

Рисунок 5.2 — Профіль

У вкладці “Профіль” користувач бачить вже розраховані певні значення, та запропоновані програмою з можливістю змінити їх.

Але перш за все необхідно записати або відкрити з файлу профіль який будемо використовувати для подальших розрахунків. Для полегшення додана можливість відкрити профіль з файлу, натиснувши відповідну кнопку, після чого з’являється вікно вибору профіля у текстовому форматі з тих що є на комп’ютері, зображено на рисунку 5.3.

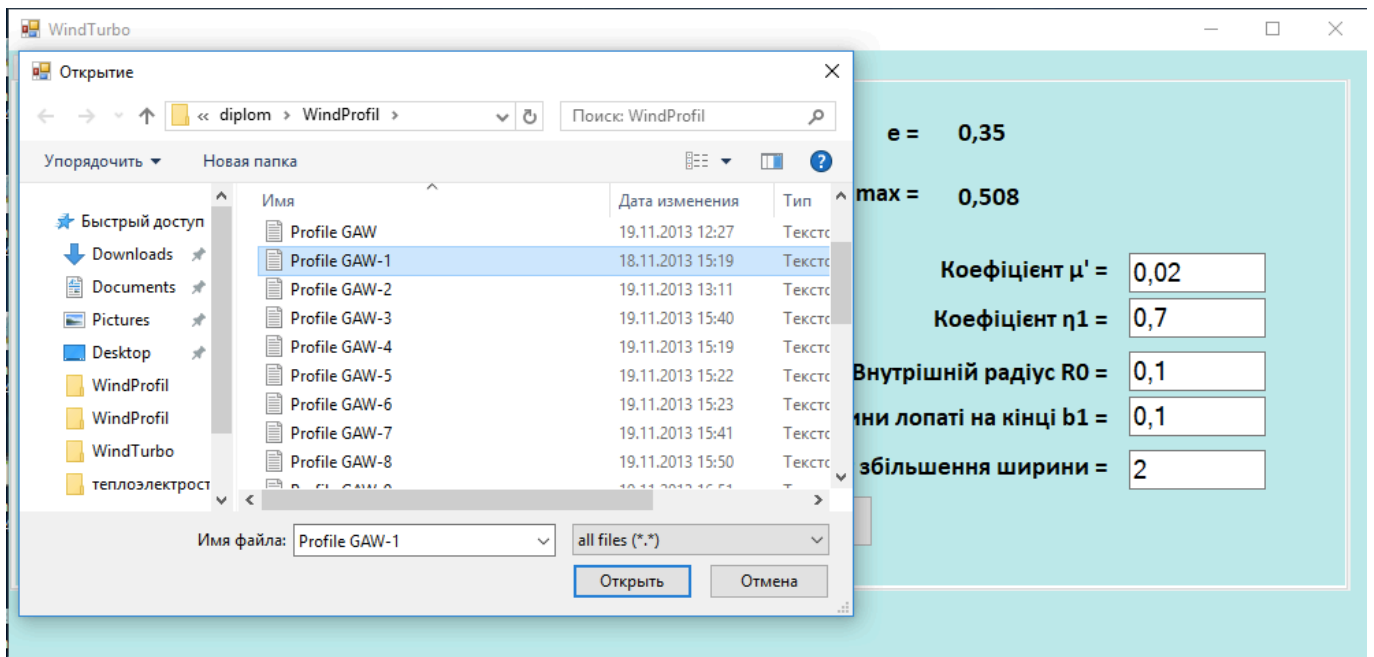


Рисунок 5.3 — Відкриття профіля з файлу

Коли буде відкрий або введений профіль програма перерахує значення та інженер зможе їх відкоригувати для остаточних розрахунків. Перед тим як перейти до результатів користувач повен натиснути кнопку “Обробити дані”, зображено на рисунку 5.4.

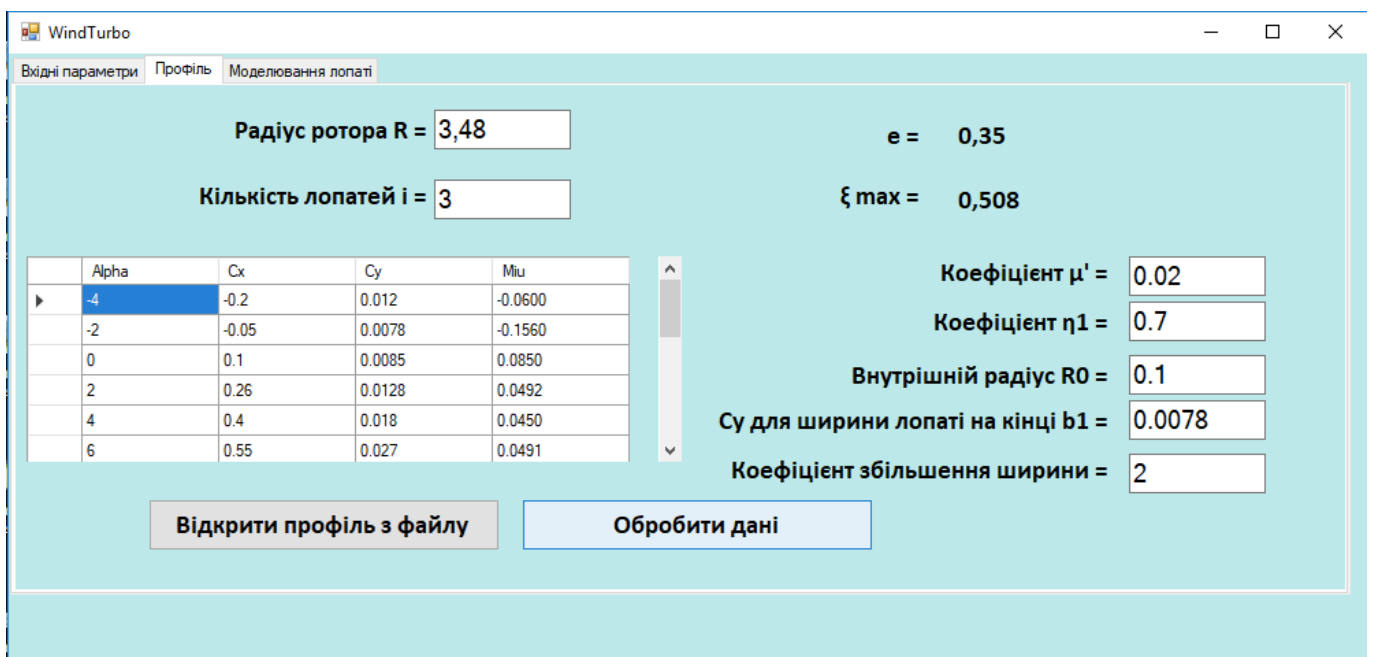


Рисунок 5.4 — Обработка данных

Після введення, корегування та виконання всіх розрахунків необхідно відкрити вкладку “Моделювання лопаті”, яка зображена на рисунку 5.5, де будуть відображені результати.

	Радіус r	Ширина лопаті	Cy	μ	Кут α	Кут φ
▶	3.480	20,258	0,008	-0,156	-2	7,39
	3,132	22,509	0,008	-0,156	-2	7,98
	2,784	24,760	0,008	-0,11377916504...	-1,64961962691...	8,36
	2,436	27,011	0,008	-0,00023586827...	-0,70735160390...	8,35
	2,088	29,262	0,009	0,082416379876...	0,144336319742...	8,73
	1,740	31,513	0,010	0,075177586198...	0,548738201194...	10,02
	1,392	33,764	0,011	0,064077920006...	1,168831284530...	11,86
	1,044	36,014	0,013	0,048975231653...	2,107032545895...	14,79
	0,696	38,265	0,016	0,046435561516...	3,316399277928...	20,29
	0,348	40,516	0,019	0,045518814609...	4,253080297460...	32,24
*						

Рисунок 5.5 — Моделювання лопаті

За відображеними параметрами інженер-механік буде будувати вітроустановку, а також можна буде провести розрахунки характеристик вітряка.

6.3 Висновки до розділу

Розроблений програмний продукт, виконує всі поставлені задачі а саме:

- створити можливість вводити вручну дані та завантажувати з файлу;
- написати покрокові розрахунки;
- додати можливість контролювати розрахунки та за потреби корегувати значення;
- створити вікно виводу розрахунків у зрозумілому вигляді для чіткого розуміння інженером.

При цьому зрозумілий в використанні та має захист на введення не коректних даних.

В результаті проектувальник, без заглиблення в те, як функціонує продукт, може легко і швидко обчислювати показники при проектуванні вітроустановки.

Розроблений інтерфейс є досить зручним простим та зрозумілим. Користувач навіть вперше відкривши програму може без труднощів користуватись, звичайно оскільки даний програмний продукт призначений для спеціальних розрахунків, то користувачем має бути людина яка розуміється на будові та характеристиках вітроустановки, тобто користувачем повинен бути інженер проектувальник.

Висновки

Отже, під час проходження практики було проведено дослідження предметної області: було вивчено теорію Г. Х. Сабініна, та принципи побудови та роботи вітроустановки.

Було розроблено Windows-орієнтований програмний продукт, що надає можливість інженеру-проектувальнику визначити та розрахувати параметри ротора вітроустановки.

Створено зручний простий та зрозумілий інтерфейс з яким користувач без проблем може взаємодіяти.

Тобто були виконані поставлені задачі:

1. створено можливість вводити вручну дані та завантажувати з файлу;
2. написано покрокові розрахунки;
3. додано можливість контролювати розрахунки та за потреби корегувати значення;
4. створено вікно виводу розрахунків у зрозумілому вигляді для чіткого розуміння інженером.

Дана програма значно полегшення роботу інженера-проектувальника та допомагає у визначенні параметрів для подальшого використання їх інженерами які будуть реалізовувати проект, а також для розрахунку усіх характеристик.

Крім того вивчено та враховані недоліки ідеальних з математичної точки зору розрахунків за яких у подальшій побудові вітроустановки буде перевитрата коштовних матеріалів та можливе реальне погіршення ефективності установки. Також впроваджена можливість втручатися та корегувати дані, які пропонує програма.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фатаев Е. М. Ветродвигатели и ветроустановки/ Фатаев Е. М. — Сельхозгиз — 1956
2. Вітроенергетика — практичні аспекти і перспективи/ Юрій Носенко [Електронний ресурс] — Режим доступу:
<http://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2081-vitroenerhetyka-praktychni-aspekty-i-perspektyvy.html>.
3. Аеродинаміка вітродвигунів: Навч. посібник / Є. Р. Абрамовський // Наука і освіта, 2008. — 242 с.
4. Стан та перспективи розвитку вітроенергетики в Україні / к.т.н., проф. В. Є. Пустоваров, І. В. Василенко.
5. Visual Studio 2015 — новая версия среды разработки от компании Microsoft [Електронний ресурс] — Режим доступу:
<https://info-comp.ru/novosti/477-visual-studio-2015.html>.
6. Windows Forms: Современная модель программирования для создания GUI приложений / Jeff Prosise — 2005. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.codenet.ru/progr/cpp/WinForms.php>
7. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії в Україні у світлі нових європейських ініціатив. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://old.niss.gov.ua/MONITOR/november08/2.htm>
8. Використання відновлюваних джерел енергії — енергії вітру. [Електронний ресурс] — Режим доступу:
<http://nadoest.com/vikoristannya-vidnovlyuvanih-djerel-energiyi-energiyi-vitru-ko>
9. The A-Z of Programming Languages: C#.

[Електронний ресурс] — https://www.computerworld.com.au/article/261958/-z_programming_languages_c

10. Основы Windows Communication Foundation для .NET Framework 3.5 / Стив Резнік, Річард Крейн, Кріс Боуен, 2008.

11. Типи вітрових електростанцій та їх різниця

[Електронний ресурс] — <https://iknet.com.ua/uk/articles/useful-to-know/types-of-WPP/>